

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-048929

(43)Date of publication of application : 18.02.2000

(51)Int.Cl.

H01T 4/12  
H01L 27/04  
H01L 21/822  
H01T 21/00  
// H02H 9/06

(21)Application number : 10-212190

(71)Applicant : MITSUBISHI MATERIALS CORP

(22)Date of filing : 28.07.1998

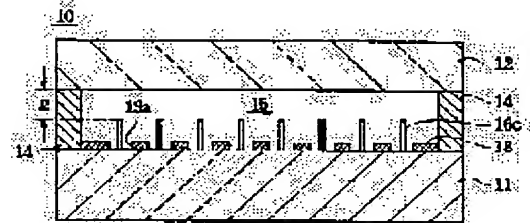
(72)Inventor : TAKOJIMA TAKEHIRO

### (54) SURGE ABSORBER AND ITS MANUFACTURE

#### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a surge absorber that has a high response speed and low operation start voltage without generating following current, can absorb a large current, and can be manufactured at low cost with a small number of components and without requiring a lot of processes.

**SOLUTION:** Two conductive elements 11, 12 used as a pair of terminal electrodes are so bonded as to have a sealed space 15 interposing insulating spacers 14 arranged throughout the peripheries of the conductive elements between them. Conductive linear bodies such as multiple silicon nano-tubes 16c or carbon nano-tubes are erected on the surface of the one conductive element 11 facing the sealed space 15. A micro-gap (g) is formed between the tips of the conductive linear bodies and the surface of the other conductive element 12 facing the sealed space 15, and the sealed space 15 is kept in a vacuum.



#### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-48929

(P2000-48929A)

(43) 公開日 平成12年2月18日 (2000.2.18)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\* (参考)

H 0 1 T 4/12

H 0 1 T 4/12

F 5 F 0 3 8

H 0 1 L 27/04

21/00

5 G 0 1 3

21/822

H 0 2 H 9/06

H 0 1 T 21/00

H 0 1 L 27/04

H

// H 0 2 H 9/06

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願平10-212190

(22) 出願日

平成10年7月28日 (1998.7.28)

(71) 出願人 000006264

三菱マテリアル株式会社

東京都千代田区大手町1丁目5番1号

(72) 発明者 蛸島 武広

宮城県古川市稲葉字大江向67番地の1

(74) 代理人 100085372

弁理士 須田 正義

Fターム(参考) 5F038 BH13 CA16 CD18 DF01 EZ14

EZ20

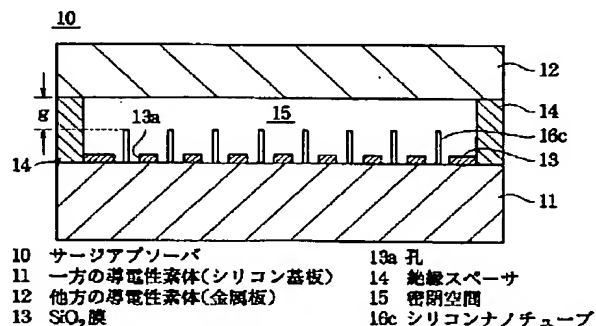
5G013 AA16 BA02 DA03

(54) 【発明の名称】 サージアブソーバ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 応答速度が速く、続流を生じず、動作開始電圧が低く、大電流を吸収する。部品点数が少なく、多くの工程を要せず安価に製造できる。

【解決手段】 一対の端子電極となる2つの導電性素体11, 12がこれらの導電性素体の全周囲に配置された絶縁スペーサ14を間に挟んで密閉空間15を有するように接着される。この密閉空間15に臨む一方の導電性素体11の表面に複数のシリコンナノチューブ16cやカーボンナノチューブ17cのような導電性線状体が立設される。これらの導電性線状体の先端と密閉空間15に臨む他方の導電性素体12の表面との間にマイクロギャップgが形成され、密閉空間15が真空である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一対の端子電極となる 2 つの導電性素体 (11, 12) が前記導電性素体 (11, 12) の全周囲に配置された絶縁スペーサ (14) を間に挟んで密閉空間 (15) を有するように接着され、

前記密閉空間 (15) に臨む一方の導電性素体 (11) の表面に複数の電界放出用の導電性線状体 (16c, 17c) が立設され、

前記導電性線状体 (16) の先端と前記密閉空間 (15) に臨む他方の導電性素体 (12) の表面との間にマイクロギャップ (g) が形成され、

前記密閉空間 (15) が真空であることを特徴とするサージアブソーバ。

【請求項 2】 一方の導電性素体 (11) がシリコンからなり、絶縁スペーサ (14) が  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  又は  $\text{Al}_2\text{O}_3$  からなり、他方の導電性素体 (12) が  $\text{Cu}$  又は  $\text{Ni}$  からなる請求項 1 記載のサージアブソーバ。

【請求項 3】 導電性線状体がシリコンナノチューブ (16c) 又はカーボンナノチューブ (17c) により構成された請求項 1 又は 2 記載のサージアブソーバ。

【請求項 4】 シリコンナノチューブ (16c) 又はカーボンナノチューブ (17c) の先端表面にダイヤモンド成分を有する膜厚がナノメートルオーダーのカーボン膜が形成された請求項 3 記載のサージアブソーバ。

【請求項 5】 一方の導電性素体であるシリコン基板 (11) の表面の全周囲に  $\text{SiO}_2$  からなる絶縁スペーサ (14) を設ける工程と、

前記シリコン基板 (11) の表面に  $\text{SiO}_2$  膜 (13) を形成する工程と、

前記  $\text{SiO}_2$  膜 (13) をエッチングにより局部的に除去してシリコン基板 (11) が露出した複数の孔 (13a) を形成する工程と、

前記孔内で露出したシリコン基板 (11) に  $\text{Au}$  粒子 (16a) を蒸着する工程と、

前記シリコン基板 (11) の表面に化学気相成長法でシリコンを含む化合物ガスを供給して前記孔内の基板表面に液状の  $\text{Au-Si}$  合金球 (16b) を形成する工程と、

化学気相成長法で更にシリコンを含む化合物ガスを供給することにより前記  $\text{Au-Si}$  合金球 (16b) から前記絶縁スペーサ (14) の高さより短いシリコンナノチューブ (16c) を成長させる工程と、

前記シリコンナノチューブ (16c) の先端表面にダイヤモンド成分を有するカーボン膜を形成する工程と、真空中で前記絶縁スペーサ (14) 上に他方の導電性素体である  $\text{Cu}$  又は  $\text{Ni}$  からなる金属板 (12) を接着して前記シリコンナノチューブ (16c) を前記絶縁スペーサ (14) 内に封止する工程とを備えたサージアブソーバの製造方法。

【請求項 6】 一方の導電性素体であるシリコン基板 (11) の表面の全周囲に  $\text{SiO}_2$  からなる絶縁スペーサ (14) を設ける工程と、

前記シリコン基板 (11) の表面に複数の島状の  $\text{Ni}$  膜 (17a)、 $\text{Co}$  膜又は  $\text{Fe}$  膜を形成する工程と、

前記島状の  $\text{Ni}$  膜 (17a)、 $\text{Co}$  膜又は  $\text{Fe}$  膜をエッチングによりその周囲を除去して基板表面に複数の  $\text{Ni}$  凸部 (17b)、 $\text{Co}$  凸部又は  $\text{Fe}$  凸部を形成する工程と、化学気相成長法で有機化合物を供給することにより前記  $\text{Ni}$  凸部 (17b)、 $\text{Co}$  凸部又は  $\text{Fe}$  凸部から前記絶縁スペーサ (14) の高さより短いカーボンナノチューブ (17c) を成長させる工程と、

10 前記カーボンナノチューブ (17c) の先端表面にダイヤモンド成分を有するカーボン膜を形成する工程と、真空中で前記絶縁スペーサ (14) 上に他方の導電性素体である  $\text{Cu}$  又は  $\text{Ni}$  からなる金属板 (12) を接着して前記カーボンナノチューブ (17c) を前記絶縁スペーサ (14) 内に封止する工程とを備えたサージアブソーバの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は誘導雷や誘導サージに起因した電流やノイズを吸収して電気機器、電子機器又はこれらの回路を保護するサージアブソーバ及びその製造方法に関する。更に詳しくはマイクロギャップ式のサージアブソーバ及びその製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、サージアブソーバとして、バリスタ、シリコンダイオード、放電型のガスチューブアレスタ、マイクロギャップ式サージアブソーバなどが知られている。バリスタは  $\text{ZnO}$  等の粒界に  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  等を析出させることにより形成され、この構造により電圧-電流特性に非直線性を作り出してサージを吸収する。シリコンダイオードは  $\text{pn}$  接合で形成されるダイオード特性を利用して小さな電流を吸収する。放電型のガスチューブアレスタはガラス管、セラミック管等の中に間隔をあけて一対の電極を不活性ガスとともに封入し、アーク電流により大きな電流を吸収する。更に放電型のマイクロギャップ式サージアブソーバは導電性皮膜で被包した円柱状のセラミック素体に周方向に数  $10\mu\text{m}$  のマイクロギャップを形成し、このセラミック素体の両端にキャップ電極を冠着し、これらのキャップ電極をそれぞれ一端にリード線を溶接した一対のスラグで挟持し、セラミック素体を不活性ガスとともにガラス管に封入して形成される (例えば、特開昭 55-128283)。このマイクロギャップ式サージアブソーバでは電圧が印加されると導電性皮膜を通じて強い電界集中をマイクロギャップに生じることにより初期放電を発生する。この初期放電時に内部の不活性ガスが電離されて電子と陽イオンを発生するが、ギャップの間隔が極めて狭いため火花放電遅れが少ない。電流が少ないときにはギャップと陰極側のキャップ電極間の沿面放電 (グロー放電) となり、電流が50 大きくなるとキャップ電極とキャップ電極との間の主

放電（アーク放電）に移行して過電圧を吸収する。

#### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】サージアブソーバがバリスタである場合には、その容量値が大きいと、クロック周波数の速い近年のコンピュータではその信号の伝達を妨げる問題点があった。またシリコンサージアブソーバの場合には、吸収できる電流値が小さいために使用できる範囲が限定される不具合があった。また放電型のガスチューブアレスタの場合には、放電後の電圧－電流特性によってインピーダンスがある値以下になると、サージやノイズが除去された後でも放電が持続する、いわゆる「続流」を起す欠点があった。更に放電型のマイクロギャップ式サージアブソーバの場合には、一対のキャップ電極の間隔が大きいことから上記続流が起きにくい利点があるが、部品点数が多い上、導電性皮膜の形成、キャップ電極の冠着、マイクロギャップの形成、ガラス管の封止などの多くの工程を要する不具合があった。本発明の目的は、応答速度が速く、続流を生じず、動作開始電圧が低く、大電流を吸収するサージアブソーバ及びその製造方法を提供することにある。本発明の別の目的は、部品点数が少なく、多くの工程を要せず、安価にサージアブソーバを製造する方法を提供することにある。

#### 【0004】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る発明は、図1に示すように一対の端子電極となる2つの導電性素体11、12がこれらの導電性素体の全周囲に配置された絶縁スペーサ14を間に挟んで密閉空間15を有するように接着され、この密閉空間15に臨む一方の導電性素体11の表面に複数の導電性線状体16cが立設され、これらの導電性線状体16cの先端と密閉空間15に臨む他方の導電性素体12の表面との間にマイクロギャップgが形成され、密閉空間15が真空であることを特徴とするサージアブソーバ10である。このサージアブソーバ10は一方向しか電流を流さないダイオード構造をなす。即ち、使用に際しては導電性素体11を保護しようとする電子機器の前段の回路に接続し、導電性素体12を接地側に接続する。導電性素体11、12の間に異常電圧が印加されると、導電性線状体16cより導電性素体12に向けて電界放出現象が起こる。この電界放出は電子のトンネル現象を利用しているため少なくとも1ナノ秒で応答する。異常電圧がこのサージアブソーバ10の動作開始電圧未満に低下すると、電界放出は停止し、続流は生じない。

【0005】請求項2に係る発明は、請求項1に係る発明であって、一方の導電性素体11がシリコンからなり、絶縁スペーサ14がSiO<sub>2</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>又はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなり、他方の導電性素体12がCu又はNiからなるサージアブソーバである。上記材料を用いることにより、容易に本発明のサージアブソーバを製造することができる。

【0006】請求項3に係る発明は、請求項1又は2に係る発明であって、導電性線状体がシリコンナノチューブ16c又はカーボンナノチューブ17cにより構成されたサージアブソーバである。導電性線状体を極く微細なシリコンナノチューブ16c又はカーボンナノチューブ17cで構成し、これを電子放出源とすることにより、極めて小さな電圧で放電し、動作開始電圧を数十V以下にすることができる。

【0007】請求項4に係る発明は、請求項3に係る発明であって、シリコンナノチューブ又はカーボンナノチューブの先端表面にダイヤモンド成分を有する膜厚がナノメートルオーダーのカーボン膜が形成されたサージアブソーバである。ダイヤモンドの仕事関数は物質の中で最も小さいため、更に電子が飛出し易くなる。ナノメートルオーダーのダイヤモンドはそれぞれ量子化されていて、シリコンナノチューブ又はカーボンナノチューブの先端表面にこれらが存在するため、一種の共鳴状態になり、見掛け上非常に低い仕事関数となる。数値として0.1～0.3eVが得られる。

【0008】請求項5に係る発明は、一方の導電性素体であるシリコン基板11の表面の全周囲にSiO<sub>2</sub>からなる絶縁スペーサ14を設ける工程と、このシリコン基板11の表面にSiO<sub>2</sub>膜13を形成する工程と、このSiO<sub>2</sub>膜13をエッチングにより局部的に除去してシリコン基板11が露出した複数の孔13aを形成する工程と、孔内で露出したシリコン基板11にAu粒子16aを蒸着する工程と、シリコン基板11の表面に化学気相成長法でシリコンを含む化合物ガスを供給して孔内の基板表面にAu-Si合金球16bを形成する工程と、化学気相成長法で更にシリコンを含む化合物ガスを供給することによりAu-Si合金球16bから絶縁スペーサ14の高さより短いシリコンナノチューブ16cを成長させる工程と、シリコンナノチューブ16cの先端表面にダイヤモンド成分を有するカーボン膜を形成する工程と、真空中で絶縁スペーサ14上に他方の導電性素体であるCu又はNiからなる金属板12を接着してシリコンナノチューブ16cを絶縁スペーサ14内に封止する工程とを備えたサージアブソーバの製造方法である。

【0009】請求項6に係る発明は、一方の導電性素体であるシリコン基板11の表面の全周囲にSiO<sub>2</sub>からなる絶縁スペーサ14を設ける工程と、このシリコン基板11の表面に複数の島状のNi膜17a、Co膜又はFe膜を形成する工程と、これらの島状のNi膜17a、Co膜又はFe膜をエッチングによりその周囲を除去して基板表面に複数のNi凸部17b、Co凸部又はFe凸部を形成する工程と、化学気相成長法で有機化合物を供給することによりNi凸部17b、Co凸部又はFe凸部から絶縁スペーサ14の高さより短いカーボンナノチューブ17cを成長させる工程と、このカーボンナノチューブ17cの先端表面にダイヤモンド成分を有

するカーボン膜を形成する工程と、真空中で絶縁スペーサ 14 上に他方の導電性素体である Cu 又は Ni からなる金属板 12 を接着してカーボンナノチューブ 17c を絶縁スペーサ 14 内に封止する工程とを備えたサージアブソーバの製造方法である。請求項 4 及び 5 に係る発明では、部品点数を少なくして、低コストでサージアブソーバを製造することができる。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】次に本発明の第 1 の実施の形態を図面に基づいて詳しく説明する。この実施の形態では、導電性線状体としてシリコンナノチューブを用いている。図 1 及び図 3 に示すように、一対の端子電極となる 2 つの導電性素体 11、12 としては、抵抗値が  $0.01 \sim 0.1 \Omega \cdot \text{cm}$  のシリコン基板、或いは Cu 又は Ni 等の電気伝導と熱伝導が良好な金属板が挙げられる。2 つの導電性素体とともにシリコンウェーハにより形成してもよいし、金属板により形成してもよい。加工のし易さから導電性線状体が立設する一方の導電性素体にはシリコン基板を、他方の導電性素体には金属板又はシリコン基板を用いることができる。シリコン基板の方が金属板より平坦度に優れる。これらの導電性素体 11、12 は厚さ  $10 \sim 1000 \mu\text{m}$  の範囲から選ばれる。一対の端子電極の間に介装される絶縁スペーサ 14 としては、一方の導電性素体 11 がシリコン基板であれば絶縁耐圧が高い  $\text{SiO}_2$  が最適である。この  $\text{SiO}_2$  はシリコン基板を陽極酸化又は熱酸化したり、或いは化学気相成長（以下、CVD という）法により形成することができる。絶縁スペーサの材質はこの  $\text{SiO}_2$  に限らず絶縁耐圧が高い  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  でもよい。 $\text{Si}_3\text{N}_4$  は誘電率が小さいため  $\text{SiO}_2$  に次いで好ましい。 $\text{SiO}_2$  を CVD 法で形成する場合には、例えば  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$  又は  $\text{SiH}_4$  と  $\text{O}_2$  又は  $\text{NO}$  ガスを用い、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  を CVD 法で形成する場合には、例えば  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$  又は  $\text{SiH}_4$  と  $\text{NH}_3$  ガスを用いて形成する。

【0011】図 4 (a) ～ (c) に示すように、この絶縁スペーサ 14 はシリコン基板 11 のシリコンナノチューブを立設する部分をフォトリソグラフのようなレジスト材料 18 で覆ってにおいて選択的に陽極酸化、熱酸化又は CVD 法で  $\text{SiO}_2$  を堆積することにより、厚さ  $0.6 \sim 12 \mu\text{m}$  の範囲で形成される。この絶縁スペーサ 14 の厚さはシリコンナノチューブ 16c の高さ、要求されるマイクロギャップ g (図 1) の大きさにより決められる。このマイクロギャップはサージアブソーバに要求される特性に応じて  $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$  程度の大きさを有する。絶縁スペーサ 14 は封止空間を作り出すために、素体単位でシリコン基板 11 の全周囲に設けられる。図 4 (d) 及び (e) に示すように、レジスト材料 18 を除去して露出したシリコン基板 11 の表面には基板の熱酸化又は CVD 法により厚さ  $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  膜 13 を形成し、この  $\text{SiO}_2$  膜 13 をパターニングし

た後、エッチャントとしてフッ化アンモニウムを用いてウェットエッチングし、図 3 に示すような直径  $0.1 \sim 2 \mu\text{m}$  の複数の円孔 13a を形成する。

【0012】次に導電性線状体であるシリコンナノチューブの成長機構について説明する。この成長機構は気相 (Vapor phase) - 液相 (Liquid phase) - 固相 (Solid phase) が同時に関与するもので、VLS 法とも言われ、シリコンウイスカーにおいて発見された。図 2

(a) ～ (c) 及び図 4 (f) に示すように、円孔 13a 内で露出したシリコン基板 11 の表面にスパッタリングなどにより Au を  $2 \sim 10 \text{nm}$  の厚さで蒸着する。CVD 装置にシリコン基板 11 を入れ、基板温度を  $650 \sim 800^\circ\text{C}$  程度に加熱すると、1 つの孔 13a に対して 1 個の Au 粒子 16a が生成し、この粒子は溶けてシリコン基板 11 と反応して Au-Si 合金球 16b の液滴となる。ここで  $\text{SiH}_4$ 、 $\text{SiHCl}_3$ 、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$  又は  $\text{Si}_2\text{H}_6$  などのシリコンを含む化合物ガスを供給すると、この液滴の中にシリコンを含む化合物ガスが溶け込み、シリコンの過飽和な分だけシリコン成分を析出して液滴の径に近い太さのチューブ 16c を成長させる。円孔の密度に比例して約  $2.5 \times 10^9 \sim 6.3 \times 10^6$  本 /  $\text{cm}^2$  の密度でシリコンナノチューブがシリコン基板上に立設する。 $\text{SiO}_2$  膜 13 上にはシリコンナノチューブは成長せず、孔 13a 内のみチューブ 16c が成長する。ここでシリコンナノチューブ 16c は絶縁スペーサ 14 の高さより低くなるように短く成長させる。Au の膜厚と孔 13a の面積によって Au-Si 合金球 16b (液滴) を形成するに必要な Au の量が決まり、この液滴の大きさによりシリコンナノチューブ 16c の太さ (直径) が決まる。シリコンナノチューブ 16c は直径  $4 \sim 400 \text{nm}$  で長さ  $0.5 \sim 2 \mu\text{m}$  の範囲で形成される。具体的には、Au の膜厚が  $5 \text{nm}$  で孔 13a の直径が  $2 \mu\text{m}$  の場合には直径が約  $400 \text{nm}$  で長さが約  $2 \mu\text{m}$  のチューブが、また Au の膜厚が  $3 \text{nm}$  で孔 13a の直径が  $0.1 \mu\text{m}$  の場合には直径が約  $20 \text{nm}$  で長さが約  $1 \mu\text{m}$  のチューブがそれぞれ成長する。

【0013】シリコンナノチューブ 16c の成長が終了した段階で、CVD 装置の原料ガスをシリコンを含む化合物ガスからベンゼン等の炭化水素系のガスに切替えてシリコンナノチューブ 16c の表面にカーボン膜 (図示せず) を形成する。このとき  $\text{SiO}_2$  膜 13 上にもカーボン膜は成長するが、このカーボンは炭素原子間で  $\text{sp}^2$  構造をなすため、DC バイアス値を適切に選ぶことでエッチングにより除去することができる。シリコンナノチューブ 16c 上のカーボン膜は単分子層の SiC を介して SiC 膜になる。更に適切な DC バイアス値と  $\text{H}_2$  ラジカルが存在下ではこの SiC 膜の上にダイヤモンド成分である  $\text{sp}^3$  を選択的に成長させたカーボン膜を形成する。このダイヤモンド成分を有するカーボン膜は上記 CVD 法の代わりに、グラファイトターゲットをスパ

ツパリングすることにより形成してもよい。導電性線状体 16 をシリコン基板 11 に立設した後、真空の雰囲気下で絶縁スペーサ 14 の上に他方の導電性素体 12 である Cu または Ni などの金属板を載せ、プラズマ又は水素イオンを用いて活性化すると、プラズマ活性接合又はイオン活性接合により絶縁スペーサ 14 と金属板が接着する。補助的に絶縁スペーサ 14 の上面に 1~2 μm の厚さで紫外線硬化接着剤を塗布しておき、金属板を載せた後、紫外線を照射することにより金属板を接着することもできる。これによりシリコンナノチューブ 16 c は絶縁スペーサ 14 内の真空中に封止される。図 1、図 3 及び図 4 では単一のサージアブソーバを示したが、実際にはシリコン基板上に多数のサージアブソーバが作製されるため、最終工程でシリコン基板及び金属板をサージアブソーバ毎にレーザなどを用いて切断する。本発明のサージアブソーバは、たて 1~20 mm、よこ 1~20 mm、高さ 0.5~2 mm 程度の寸法を有する。

【0014】次に本発明の第 2 の実施の形態を図 5 を参照して説明する。この実施の形態では、導電性線状体としてカーボンナノチューブを用いている。一方の導電性素体 11 の上に絶縁スペーサ 14 を形成する方法は第 1 の実施の形態と同様である。図 5 (a) ~ (d) に示すように、露出したシリコン基板 11 の表面には Ni、Co または Fe をスパッタリングなどにより 3~10 nm の厚さで蒸着した後、650~800℃に保ちながら不活性ガス雰囲気中で熱処理すると、島状の Ni 膜 17 a、Co 膜又は Fe 膜が形成される。次いで島状の Ni 膜 17 a、Co 膜又は Fe 膜をドライエッチングによりその周囲を除去して基板表面に複数の Ni 凸部 17 b、Co 凸部又は Fe 凸部を形成した後、CVD 法でベンゼンのような有機化合物を供給することにより Ni 凸部 17 b、Co 凸部又は Fe 凸部からカーボンナノチューブ 17 c を成長させる。ここで Ni 凸部等に正確なエッジを付けると、このエッジからナノチューブは基板に対して垂直に成長する。凸部に形成しない場合には、ナノチューブの成長方向は基板に平行であってしかもランダムであり、基板に立設しない。このカーボンナノチューブの長さは、前述したシリコンナノチューブの長さと同様に決められる。Ni 凸部の径が 15~60 nm のとき、この Ni 凸部の径と同じ直径約 15~60 nm で長さが約 0.5~1 μm のカーボンナノチューブが基板に対して垂直に成長する。Ni 凸部等の密度に比例して約  $1.1 \times 10^{11} \sim 6.9 \times 10^9$  本/cm<sup>2</sup> の密度でカーボンナノチューブがシリコン基板上に立設する。このカーボンナノチューブのダイヤモンド化及び他方の導電性素体による真空中の封止は第 1 の実施の形態と同様であるので、繰返しての説明を省略する。

#### 【0015】

【実施例】次に本発明の実施例を説明する。

<実施例 1> この例では導電性線状体がシリコンナノチ

ューブである。まず結晶方位が (111) の厚さ 350 μm のシリコンウェーハの表面を陽極酸化して厚さ 2 μm の SiO<sub>2</sub> からなる絶縁スペーサをウェーハ上に設けた。次いで絶縁スペーサ内部のウェーハ表面に熱酸化により厚さ 0.1 μm の SiO<sub>2</sub> 膜を形成した。この SiO<sub>2</sub> 膜をエッチングして直径 0.1 μm の円形の孔を多数形成した。次にウェーハ上に Au を 3 nm の厚さで蒸着した後、700℃に保ちながら 30 分間熱処理を行った。エッチングにより形成された 1 つの孔に対して 1 個の液状の Au-Si 合金球が形成された。この Au-Si 合金球に SiH<sub>4</sub> ガスを 30 分間吹付けると、シリコンが Au-Si 合金球に溶け込み、過飽和の分だけシリコンナノチューブとして成長した。この例では直径約 20 nm で長さ約 1 μm のシリコンナノチューブをシリコンウェーハに対して垂直に約  $2.5 \times 10^9$  本/cm<sup>2</sup> の密度で成長させた。SiH<sub>4</sub> ガスをベンゼンガスに切換えることにより、シリコンナノチューブの先端表面にダイヤモンド成分を有する膜厚がナノメートルオーダのカーボン膜を形成した。シリコンナノチューブが立設したシリコンウェーハを真空の雰囲気下におき、絶縁スペーサの上に厚さ 500 μm の Cu 板を載せ、プラズマ活性接合により絶縁スペーサに Cu 板を接着した。これによりシリコンナノチューブを絶縁スペーサ内の真空中に封止した。この接合体を封止単位毎にレーザにより切断してたて 3 mm、よこ 3 mm、高さ 1 mm のサージアブソーバを得た。またこのサージアブソーバのマイクロギャップは 1 μm であった。

【0016】<実施例 2> この例では導電性線状体がカーボンナノチューブである。実施例 1 と同じシリコンウェーハ上に実施例 1 と同じ絶縁スペーサを設けた後、絶縁スペーサ内部のウェーハ表面にスパッタリングにより厚さ 5 nm の Ni 膜を蒸着した。この Ni 膜を形成したシリコンウェーハを 700℃に保ちながら He 雰囲気中で 30 分間熱処理すると、膜状の Ni が多数の島状になった。この島状の Ni を周囲をドライエッチングで選択的に削って、Ni 凸部を形成した。CVD 装置にこのシリコンウェーハを入れ、原料ガスとしてベンゼンガスを 1 時間供給することによりカーボンナノチューブを約  $1.1 \times 10^{11}$  本/cm<sup>2</sup> の密度で成長させた。この例では直径約 15 nm で長さ約 1 μm のカーボンナノチューブがシリコンウェーハに対して垂直に成長した。以下、実施例 1 と同様に Cu 板を絶縁スペーサに接着し、カーボンナノチューブを絶縁スペーサ内の真空中に封止した。このウェーハと Cu 板の接合体を封止単位毎にレーザにより切断してたて 3 mm、よこ 3 mm、高さ 1 mm のサージアブソーバを得た。またこのサージアブソーバのマイクロギャップは 1 μm であった。

【0017】<評価> 実施例 1 と実施例 2 のサージアブソーバについて、10 kV で 500 pF のコンデンサに蓄えられた電荷を 500 Ω の抵抗を介して印加した時の

応答速度、続流の有無、動作開始電圧、及び吸収できる電流値（電流密度）を測定した。その結果を表 1 に示す。

【0018】

【表 1】

	実施例 1	実施例 2
応答速度 (ナノ秒)	0.9	0.7
続流の有無	なし	なし
動作開始電圧 (V)	15~23	5~10
電流密度 ( $A/cm^2$ )	$2.3 \times 10^4$	$9.9 \times 10^6$

【0019】

【発明の効果】以上述べたように、本発明のサージアブソーバは、電界放出でサージを吸収することにより、シリコンダイオードと同等かそれ以上の高速で応答する。また電界放出の原理上、しきい値となる電圧以上にならなければ電界放出は起こらず、サージが吸収されて電圧がしきい値未満になれば、電界放出は停止し、従来の放電型のガスチューブアRESTAと異なり、続流は生じない。シリコンナノチューブやカーボンナノチューブなどの極微細の導電性線状体を電子放出源とするため、10V程度の極めて低い電圧を動作開始電圧とすることができる。本発明のサージアブソーバの吸収できる電流値は、電界放出素子の密度に比例するので、自己組織化の

手法を用いて電界放出素子を  $10^9 \sim 10^{12}$  本/ $cm^2$  の密度で形成すれば、従来の放電型のサージアブソーバと同等の  $10^4 \sim 10^6 A/cm^2$  の電流密度が得られる。更に本発明のサージアブソーバは、部品点数が少なく、安価に製造できる利点もある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 の実施の形態に係るサージアブソーバの断面構成図。

【図 2】シリコンナノチューブの成長機構を示す断面図。

【図 3】第 1 の実施の形態に係るサージアブソーバの斜視図。

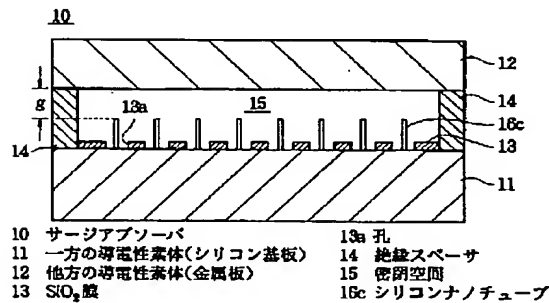
【図 4】第 1 の実施の形態に係るサージアブソーバを製造するまでの断面図。

【図 5】第 2 の実施の形態に係るサージアブソーバを製造するまでの断面図。

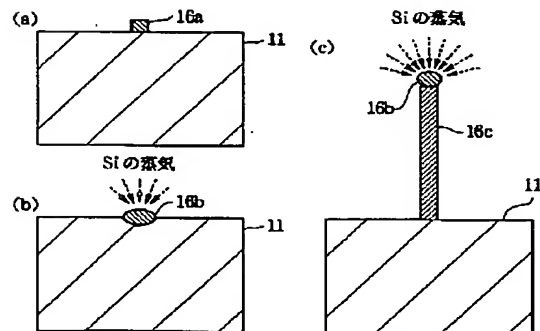
【符号の説明】

- 10 サージアブソーバ
- 11 一方の導電性素体 (シリコン基板)
- 12 他方の導電性素体 (金属板)
- 13  $SiO_2$  膜
- 13a 孔
- 14 絶縁スペーサ
- 15 密閉空間
- 16c シリコンナノチューブ
- 17c カーボンナノチューブ

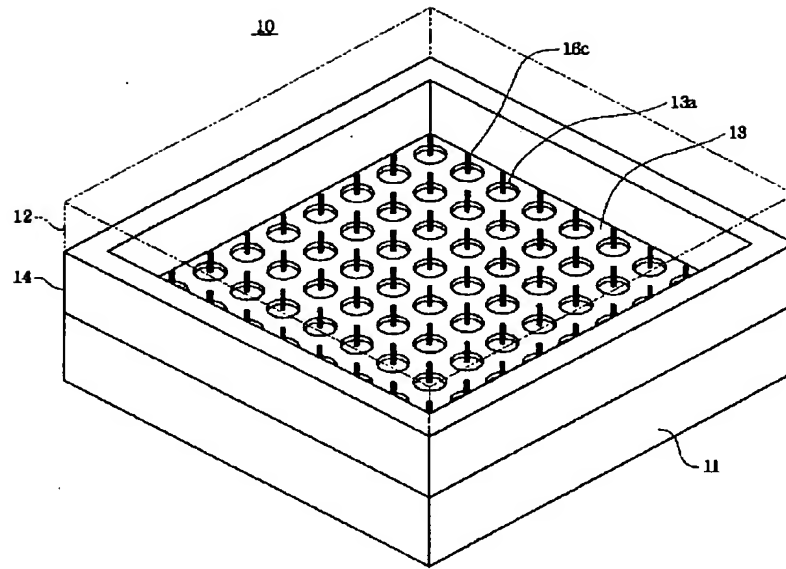
【図 1】



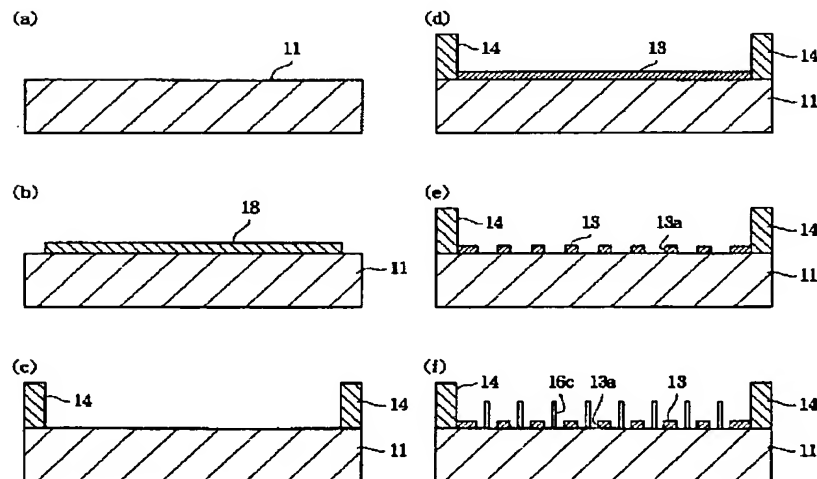
【図 2】



【図 3】



【図 4】





【図5】

